

私たちが地球上で生活する上で最も恩恵を受けているものは、一体何でしょうか。生命をつかさどる水でしょうか。または、環境面や精神面でさまざまな効果・効用を与えてくれる植物でしょうか。われわれ人間やその他の生物を形成している DNA 自体の存在かもしれません。人類が生活する上で必要なものは数多くありますが、これらを創造するために最も重要なものとして、膨大なエネルギーを放つ太陽が挙げられます。太陽から地球上に注ぐ電磁波は人に光を与え、熱を与え、そしてさまざまなエネルギーの根源となっています。それでは、電磁波のうち、紫外線からはどのような恩恵を受けているのでしょうか。

1. 紫外線の影響と効果

1800年、イギリスの W. ハーシェルは、太陽光をプリズムで分光してその光の温度を測定する実験を行ったところ、赤色光より外側の光が見えない部分でも温度が上昇したことから、赤色光より外にも光が存在することを発見しました。同じような考え方で、翌年に紫外光より外側にも何らかの光の存在を推測し発見したのが、ドイツの物理学者 J. W. リッターです。紫色光より外側では塩化銀の黒色現象を起こす光があることがわかり、この光を紫外線 (UV) と名づけました。

紫外線には波長によって3つの区分があり、波長の長いほうから UV-A (315~400 nm)、UV-B (280~315 nm)、UV-C (100~280 nm) となります。UV-A は人の皮膚の奥の真皮まで届き、老化を促進させたり、メラニン色素の生成を促し肌を褐色化させたりします。日焼けサロンでは、この UV-A の放射量が多いランプが使用されています。UV-B は、血管を拡張し充血反応を起こし、さらに強い光を浴びると細胞の破壊を引き起こします。これは皮膚癌を起こす主要因と考えられています。他方、UV-B にはビタミン D の生成を促進させる効果もあります。日

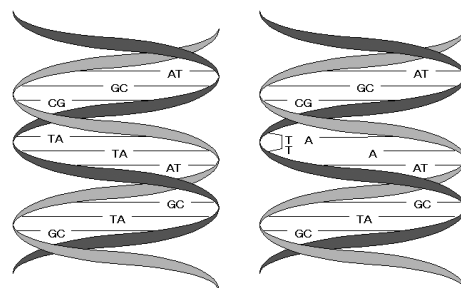


図1 DNAの螺旋構造。左：UV照射前，右：UV照射後。

照時間の少ない地域では大腸癌など特定の癌の発生率が上昇するとの報告もあり、ビタミン D と癌抑制の関係性に関する研究も行われています¹⁾。UV-C になると、生命にとっては大変危険なエネルギーを有します。これは、DNA が 260 nm 付近に高い吸収スペクトルをもっているため、効率よくこの光を吸収し、さまざまな光化学反応を起こすからです。ただし、太陽光に含まれる UV-C はオゾン層によって吸収されるため、ほとんど地球には到達しません。これらの紫外線の影響をみると、悪い作用ばかりが目立ちますが、適度な紫外線は殺菌効果や健康促進効果を与えてくれます。

殺菌効果が最も高い波長も DNA の吸収スペクトルと同じ 260 nm 付近にあり、殺菌には水銀ランプ (主波長 253.7 nm) が多く用いられています。DNA は4種類の塩基、チミン (T)、アデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C) で構成され、T と A、G と C が対になって2本の鎖で二重螺旋構造を形成しています (図1) が、ここに UV を照射して光反応が起きると、対になっていた一部の塩基が分離し、同一の鎖 (1本の鎖) で隣接するチミン同士が結合してダイマー (二量体) が形成されます。本来起こりえないチミンダイマーの生成が DNA の死滅または DNA の正常な複製を防止するため、これが殺菌効果となります²⁾。紫外線による殺菌効果は、ほぼすべての細菌・ウイルスに対して有効であり、紫外線

表1 紫外線殺菌装置の長所・短所.

長 所	短 所
1. UV に耐性のある菌が少ない	1. 残留性がない (設置箇所にしか効果がない)
2. 残留性がない (照射媒質に変化を与えない)	2. 殺菌対象が表面に限られる
3. 設置が簡単・保守管理が容易	3. 遮蔽物があると効果がない
4. 処理時間が短い	

照射による菌の生存率 S は以下の式で表せます.

$$S = P/P_0 \\ = \exp\{-Et/Q\}$$

ここで, P_0, P は紫外線照射前後の菌数, E は紫外線照射度 [mW/cm^2], t は時間 [s], Q は細菌の紫外線に対する耐性パラメーターです. このように, 特定の菌を殺菌するために必要な紫外線照射量は, 強度と時間の積が同じであれば同等の効果が得られます. また, 各微生物の紫外線感受性 (99.9% の殺菌に必要な波長 253.7 nm の紫外線照射量) のデータと照合することで, 必要なランプの照度や時間を推測できます. 例えば, 大腸菌 O-157 の紫外線感受率は $4000 [\mu\text{Ws}/\text{cm}^2]$ であり, 通常の殺菌装置であれば数秒で殺菌が可能です³⁾.

2. 紫外線の応用用途

紫外線殺菌の応用としては, 半導体製造工場, 医療製造工場, 水産加工工場などがあります. 水道水は一般に塩素により殺菌を行っていますが, 塩素では, 水道汚染の原因となるクリプトスポリジウムという原虫を殺菌することができません. 紫外線殺菌はあらゆる菌種に対して有効なため, クリプトスポリジウムの殺菌も可能です. また, 塩素に比べて水質に変化を与えないため, 安全性も高いといえます. ただ, 現在の水道水が紫外線殺菌のみを用いないのは, 表1にあるように, 残留性がないことが大きな要因です. 塩素の場合は浄水する水そのものに

塩素を流すため, 蛇口から出るまで殺菌効果がありますが, 紫外線殺菌の場合は UV ランプが設置された箇所では殺菌作用がありません. その他の紫外線の応用先には, UV-A や UV-B を用いた乾癬やアトピー性皮膚炎などの紫外線治療法 (PUVA 療法) があります. このような治療が可能となるのは, 紫外線の作用がアレルギー反応に関与する細胞の働きを抑制しているためと考えられています. またそのほかに, ダイヤモンドによる紫外線 LED (発光波長 235 nm) の研究がなされており, 大腸菌の殺菌効果が確認されています⁴⁾. 紫外線 LED の実現は, 水銀を使わない光源として新たな市場を開拓するかもしれません.

紫外線に限らず, 人は太陽からのあらゆる電磁波を有効活用しているといえるでしょう. それに伴い, 電磁波を観測するための受光素子の開発, 受光素子に集光するためのレンズなどの光学素子・材料の開発, また電磁波を生成する光源の開発が過去になされてきました. UV-C は地上にはほとんど存在しない電磁波ですが, UV ランプとして地上でも生成されてきました. 本来なら生命にとって有害な光を有効利用する術を見いだすとは, 人間はなんともしたたかな生命体です.

(コニカミノルタオプト(株) 長井史生)

文 献

- 1) 奥野純子, 戸村成男, 柳 久子: “地域在住虚弱高齢者のビタミン D 濃度の分布状況とビタミン D 濃度と生活機能・身体機能との関連”, 日本老年医学会雑誌, 44 (2007) 634-640.
- 2) WHO: Environmental Health Criteria 160; Ultraviolet Radiation, International Programme on Chemical Safety (1994).
- 3) 浦上逸男: 初歩から学ぶ紫外線殺菌—工業用水から上水道まで— (工業調査会, 2005).
- 4) ニュース解説 “ダイヤモンドによる紫外線 LED の開発—実用に近い発光出力を実現し大腸菌の殺菌に成功—”, 電子情報通信学会誌, 93 (2010) 722-723.